

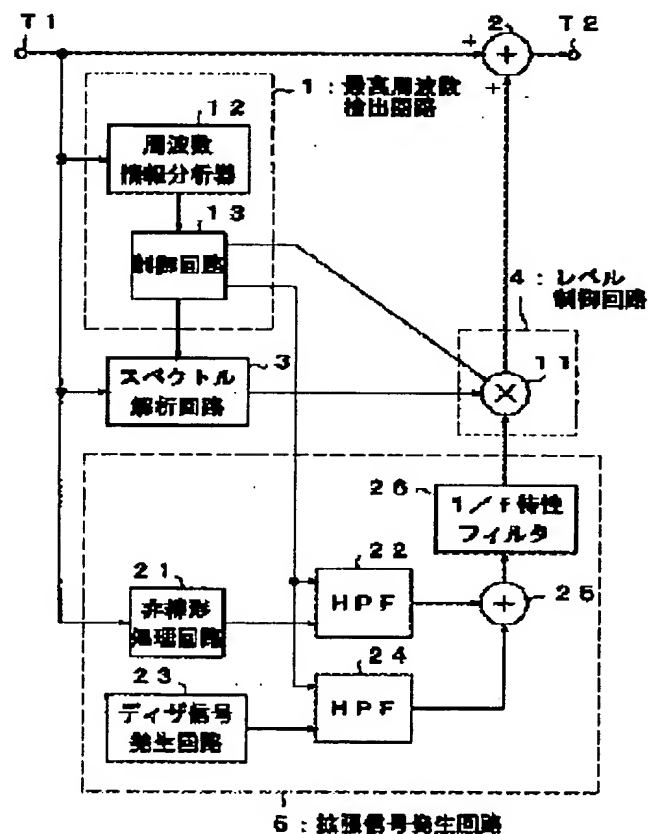
# METHOD AND DEVICE FOR BAND EXPANSION OF AUDIO SIGNAL

Patent number: JP2002366178  
 Publication date: 2002-12-20  
 Inventor: IIMURA KATSUHIKO; IWATA KAZUYA; NAGAI KIYOTAKA  
 Applicant: MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD  
 Classification:  
 - international: G10L13/00; G10L13/00; (IPC1-7): G10L13/00  
 - european:  
 Application number: JP20010174211 20010608  
 Priority number(s): JP20010174211 20010608

Report a data error here

## Abstract of JP2002366178

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a method and a device which can improve the reproduced sound of an audio signal and the reproduced sound of a compressed audio signal, specially and reproduce sound quality of a high pitch range, and expand an audio signal comfortable to the human ears, and expands the band of the audio signal. **SOLUTION:** A digital signal processing circuit interposed between an input terminal T1 and an output terminal T2 comprises a maximum frequency detecting circuit 1, an adder 2, a spectrum analyzing circuit 3, and a multiplier 11. An expanded signal generating circuit 5 is equipped with a nonlinear processing circuit 21, a high-pass filter 22, a dither signal generating circuit 23, a high-pass filter 24, an adder 25, and a 1/f characteristic filter 26.



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開 2002-366178

(P 2002-366178A)

(43)公開日 平成14年12月20日(2002.12.20)

(51)Int. Cl.<sup>7</sup>

G10L 13/00

識別記号

F I

G10L 7/02

メモート(参考)

D

審査請求 未請求 請求項の数 29 OL

(全17頁)

(21)出願番号 特願2001-174211(P2001-174211)

(22)出願日 平成13年6月8日(2001.6.8)

(71)出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72)発明者 飯村 勝彦

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72)発明者 岩田 和也

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(74)代理人 100084364

弁理士 岡本 宜喜

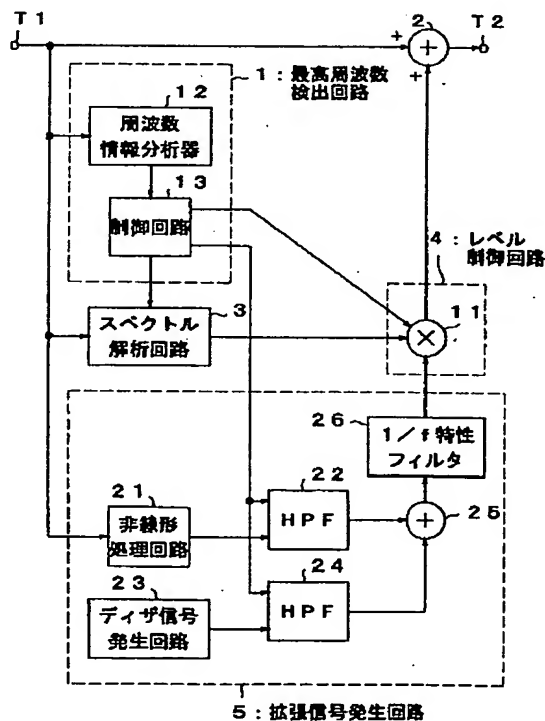
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 オーディオ信号の帯域拡張方法及び帯域拡張装置

(57)【要約】

【課題】 オーディオ信号の再生音や圧縮されたオーディオ信号の再生音、特に高音域の再生音質の向上を図り、人間の耳に快適なオーディオ信号を再生できるオーディオ信号の帯域を拡張するための方法及び装置を提供する。

【解決手段】 入力端子T1と出力端子T2との間に挿入されるデジタル信号処理回路であって、最高周波数検出回路1と、加算器2と、スペクトル解析回路3と、乗算器11で構成される。また、拡張信号発生回路5は、非線形処理回路21と、高域通過フィルタ22と、ディザ信号発生回路23と、高域通過フィルタ24と、加算器25と、 $1/f$ 特性フィルタ26とを備えて構成される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 所定の最高周波数を有する第1の帯域のデジタルオーディオ信号のうちの所定の帯域のスペクトル強度を演算して、演算されたスペクトル強度を示す信号を出力するステップと、

上記第1の帯域よりも高い第2の帯域の周波数成分を有する拡張信号を発生するステップと、

上記演算されたスペクトル強度を示す信号に応じて、上記拡張信号のレベルを制御するステップと、

上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号に対して上記最高周波数を検出し、上記最高周波数に応じて各部を制御するステップと、

上記レベルが制御された拡張信号を、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号に加算して、加算結果のデジタルオーディオ信号を出力するステップとを含むことを特徴とするオーディオ信号の帯域拡張方法。

【請求項2】 上記最高周波数を検出するステップは、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報を入手するステップと、

上記最高周波数の情報から聴覚特性を考慮して、上記拡張信号を発生するステップを制御するステップとを含むことを特徴とする請求項1記載のオーディオ信号の帯域拡張方法。

【請求項3】 上記最高周波数を検出するステップは、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報を入手するステップと、

上記最高周波数の情報から聴覚特性を考慮して、上記拡張信号のレベルを制御するステップを制御するステップとを含むことを特徴とする請求項1記載のオーディオ信号の帯域拡張方法。

【請求項4】 上記最高周波数を検出するステップは、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報を入手するステップと、

上記最高周波数の情報から聴覚特性を考慮して、上記演算されたスペクトル強度を示す信号を出力するステップを制御するステップとを含むことを特徴とする請求項1記載のオーディオ信号の帯域拡張方法。

【請求項5】 上記最高周波数を検出するステップは、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報を入手するステップと、

上記拡張信号を発生するステップと、上記拡張信号のレベルを制御するステップと、上記演算されたスペクトル強度を示す信号を出力するステップとのうち2つ乃至3つのステップを、上記最高周波数の情報から聴覚特性を考慮して制御するステップとを含むことを特徴とする請求項1記載のオーディオ信号の帯域拡張方法。

【請求項6】 上記最高周波数を検出するステップは、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報を、所定の周期で入手するステップと、

上記拡張信号を発生するステップと、上記拡張信号のレ

ベルを制御するステップと、上記演算されたスペクトル強度を示す信号を出力するステップとのうち1つ乃至2つ乃至3つのステップを、所定の周期で上記最高周波数の情報から聴覚特性を考慮して制御するステップとを含むことを特徴とする請求項1記載のオーディオ信号の帯域拡張方法。

【請求項7】 上記最高周波数の情報を入手するステップは、

上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号のうち、信号の仕様情報（ヘッダ情報）から、最高周波数の情報を入手するステップを含むことを特徴とする請求項2～6のいずれか1項記載のオーディオ信号の帯域拡張方法。

【請求項8】 上記最高周波数情報を入手するステップは、

上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の周波数スペクトルを分析して、最高周波数の情報を入手するステップを含むことを特徴とする請求項2～6のいずれか1項記載のオーディオ信号の帯域拡張方法。

【請求項9】 上記拡張信号を発生するステップは、非線形の入出力特性を有し、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号に対して非線形処理を実行して上記デジタルオーディオ信号を歪ませることにより、上記デジタルオーディオ信号の高調波成分のデジタル信号を発生するステップと、

上記高調波成分のデジタル信号のうち上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報から聴覚特性に応じた周波数成分を高域通過ろ波して、ろ波後の信号を拡張信号として出力するステップとを含むことを特徴とする請求項1, 2, 5, 6, 7, 8のいずれか1項記載のオーディオ信号の帯域拡張方法。

【請求項10】 上記拡張信号を発生するステップは、振幅レベルに対して所定の確率分布を有するディザ信号を発生するステップと、

上記ディザ信号のうち上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報から聴覚特性に応じた周波数成分を高域通過ろ波して、ろ波後の信号を拡張信号として出力するステップとを含むことを特徴とする請求項1, 2, 5, 6, 7, 8のいずれか1項記載のオーディオ信号の帯域拡張方法。

【請求項11】 上記拡張信号を発生するステップは、非線形の入出力特性を有し、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号に対して非線形処理を実行して上記デジタルオーディオ信号を歪ませることにより、上記デジタルオーディオ信号の高調波成分のデジタル信号を発生するステップと、

上記高調波成分のデジタル信号のうち上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報から聴覚特性に応じた周波数成分を高域通過ろ波して、ろ波後の信号を拡張信号として出力するステップと、

振幅レベルに対して所定の確率分布を有するディザ信号

を発生するステップと、

上記ディザ信号のうち上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報から聴覚特性に応じた周波数成分を高域通過ろ波して、ろ波後の信号を出力するステップと、

上記高域通過ろ波された2つの信号を加算して、加算結果の信号を拡張信号として出力するステップとを含むことを特徴とする請求項1, 2, 5, 6, 7, 8のいずれか1項記載のオーディオ信号の帯域拡張方法。

【請求項12】 上記レベルを制御するステップの前に、所定の $1/f$ 特性と $1/f^2$ 特性とのうちの1つのフィルタ特性を有し、上記拡張信号を低域通過ろ波するステップをさらに含むことを特徴とする請求項1, 9, 10, 11のいずれか1項記載のオーディオ信号の帯域拡張方法。

【請求項13】 上記ディザ信号を発生するステップは、それぞれ互いに独立な擬似雑音系列ノイズ信号を発生する複数のステップと、

上記複数の擬似雑音系列ノイズ信号を加算することにより、振幅レベルに対して、ガウス分布と釣り鐘型分布のうちの1つの分布の確率密度を有する加算結果のディザ信号を発生して拡張信号として出力するステップとを含むことを特徴とする請求項10, 11, 12のいずれか1項記載のオーディオ信号の帯域拡張方法。

【請求項14】 上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号のうちの所定の複数の帯域のスペクトル強度を演算して、演算された複数の帯域のスペクトル強度に基づいて上記デジタルオーディオ信号が単一のスペクトルであるか否かを判断するステップと、上記デジタルオーディオ信号が単一のスペクトルではないと判断されたときは、上記拡張信号を出力する一方、上記デジタルオーディオ信号が単一のスペクトルであると判断されたときは、上記拡張信号を出力しないように切り換えるステップとをさらに含むことを特徴とする請求項1~13のいずれか1項記載のオーディオ信号の帯域拡張方法。

【請求項15】 所定の最高周波数を有する第1の帯域のデジタルオーディオ信号のうちの所定の帯域のスペクトル強度を演算して、演算されたスペクトル強度を示す信号を出力する第1のスペクトル解析手段と、上記第1の帯域よりも高い第2の帯域の周波数成分を有する拡張信号を発生する拡張信号発生手段と、上記第1のスペクトル解析手段から出力される演算されたスペクトル強度を示す信号に応じて、上記拡張信号のレベルを制御するレベル制御手段と、

上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号に対して上記最高周波数を検出し、上記最高周波数に応じて各部を制御する最高周波数検出手段と、

上記レベル制御手段により制御された拡張信号を、上記

第1の帯域のデジタルオーディオ信号に加算して、加算結果のデジタルオーディオ信号を出力する第1の加算手段と、を備えたことを特徴とするオーディオ信号の帯域拡張装置。

【請求項16】 上記最高周波数検出手段は、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報を入手する周波数情報入手手段と、上記最高周波数の情報から聴覚特性を考慮して、上記拡張信号発生手段を制御する制御手段とを備えたことを特徴とする請求項15記載のオーディオ信号の帯域拡張装置。

【請求項17】 上記最高周波数検出手段は、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報を入手する周波数情報入手手段と、上記最高周波数の情報から聴覚特性を考慮して、上記レベル制御手段を制御する制御手段とを備えたことを特徴とする請求項15記載のオーディオ信号の帯域拡張装置。

【請求項18】 上記最高周波数検出手段は、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報を入手する周波数情報入手手段と、上記最高周波数の情報から聴覚特性を考慮して、上記第1のスペクトル解析手段を制御する制御手段とを備えたことを特徴とする請求項15記載のオーディオ信号の帯域拡張装置。

【請求項19】 上記最高周波数検出手段は、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報を入手する周波数情報入手手段と、上記拡張信号発生手段と、上記レベル制御手段と、上記第1のスペクトル解析手段のうち2つ乃至3つの手段を、上記最高周波数の情報から聴覚特性を考慮して制御する制御手段とを備えたことを特徴とする請求項15記載のオーディオ信号の帯域拡張装置。

【請求項20】 上記最高周波数検出手段は、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報を、所定の周期で入手する周波数情報入手手段と、上記拡張信号発生手段と、上記レベル制御手段と、上記第1のスペクトル解析手段のうち1つ乃至2つ乃至3つの手段を、所定の周期で上記最高周波数の情報から聴覚特性を考慮して制御する制御手段とを備えたことを特徴とする請求項15記載のオーディオ信号の帯域拡張装置。

【請求項21】 上記周波数情報入手手段は、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号のうち、信号の仕様情報（ヘッダ情報）から、最高周波数の情報を入手する手段を備えたことを特徴とする請求項16~20のいずれか1項記載のオーディオ信号の帯域拡張装置。

【請求項22】 上記周波数情報入手手段は、

上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の周波数スペクトルを分析して、最高周波数の情報を入手する手段を備えたことを特徴とする請求項16～20のいずれか1項記載のオーディオ信号の帯域拡張装置。

【請求項23】 上記拡張信号発生手段は、非線形の入出力特性を有し、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号に対して非線形処理を実行して上記デジタルオーディオ信号を歪ませることにより、上記デジタルオーディオ信号の高調波成分のデジタル信号を発生する非線形処理手段と、

上記非線形処理手段から出力される高調波成分のデジタル信号のうち上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報から聴覚特性に応じた周波数成分を高域通過ろ波して、ろ波後の信号を拡張信号として出力する第1の高域通過フィルタとを備えたことを特徴とする請求項15、16、19、20、21、22のいずれか1項記載のオーディオ信号の帯域拡張装置。

【請求項24】 上記拡張信号発生手段は、振幅レベルに対して所定の確率分布を有するディザ信号を発生するディザ信号発生手段と、上記ディザ信号のうち上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報から聴覚特性に応じた周波数成分を高域通過ろ波して、ろ波後の信号を拡張信号として出力する第2の高域通過フィルタとを備えたことを特徴とする請求項15、16、19、20、21、22のいずれか1項記載のオーディオ信号の帯域拡張装置。

【請求項25】 上記拡張信号発生手段は、非線形の入出力特性を有し、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号に対して非線形処理を実行して上記デジタルオーディオ信号を歪ませることにより、上記デジタルオーディオ信号の高調波成分のデジタル信号を発生する非線形処理手段と、

上記非線形処理手段から出力される高調波成分のデジタル信号のうち上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報から聴覚特性に応じた周波数成分を高域通過ろ波して、ろ波後の信号を出力する第1の高域通過フィルタと、

振幅レベルに対して所定の確率分布を有するディザ信号を発生するディザ信号発生手段と、

上記ディザ信号のうち上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報から聴覚特性に応じた周波数成分を高域通過ろ波して、ろ波後の信号を出力する第2の高域通過フィルタと、

上記第1の高域通過フィルタから出力される信号と、上記第2の高域通過フィルタから出力される信号とを加算して、加算結果の信号を拡張信号として出力する第2の加算手段とを備えたことを特徴とする請求項15、16、19、20、21、22のいずれか1項記載のオーディオ信号の帯域拡張装置。

【請求項26】 所定の $1/f$ 特性と $1/f^2$ 特性との中の1つのフィルタ特性を有し、上記拡張信号を低域通過ろ波して上記レベル制御手段に出力する低域通過フィルタをさらに備えたことを特徴とする請求項15又は23記載のオーディオ信号の帯域拡張装置。

【請求項27】 所定の $1/f$ 特性と $1/f^2$ 特性との中の1つのフィルタ特性を有し、上記拡張信号を低域通過ろ波して上記レベル制御手段に出力する低域通過フィルタをさらに備えたことを特徴とする請求項24又は25記載のオーディオ信号の帯域拡張装置。

【請求項28】 上記ディザ信号発生手段は、それぞれ互いに独立な擬似雑音系列ノイズ信号を発生する複数のノイズ信号発生回路と、

上記各ノイズ発生回路の世って発生される複数の擬似雑音系列ノイズ信号を加算することにより、振幅レベルに対して、ガウス分布と釣り鐘型分布のうちの1つの分布の確率密度を有する加算結果のディザ信号を発生して拡張信号として出力する第3の加算手段を備えたことを特徴とする請求項24、25、27のいずれか1項記載のオーディオ信号の帯域拡張装置。

【請求項29】 上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号のうちの所定の複数の帯域のスペクトル強度を演算して、演算された複数の帯域のスペクトル強度に基づいて上記デジタルオーディオ信号が単一のスペクトルであるか否かを判断する第2のスペクトル解析手段と、上記第2のスペクトル解析手段により上記デジタルオーディオ信号が単一のスペクトルではないと判断されたときは、上記拡張信号を上記第1の加算手段に出力する一方、上記デジタルオーディオ信号が単一のスペクトルであると判断されたときは、上記拡張信号を上記第1の加算手段に出力しないように切り換えるスイッチ手段とをさらに備えたことを特徴とする請求項15～28のいずれか1項記載のオーディオ信号の帯域拡張装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、オーディオ機器におけるオーディオ信号の再生音や圧縮されたオーディオ信号の再生音、特に高音域の再生音質の向上を図り、人間の耳に快適なオーディオ信号を再生できるオーディオ信号の帯域を拡張するための方法及び装置に関し、特に、入力されるオーディオ信号をデジタル処理することにより入力されるオーディオ信号の帯域を拡張するための方法及び装置に関する。

【0002】

【従来の技術】アナログオーディオ再生信号に対して、再生周波数帯の高音域上限か又は可聴周波数帯域の高音域上限を越える周波数のスペクトルを有する信号を付加するための従来技術のオーディオ信号再生装置として、日本国特許公開平成9年36685号公報において開示されている。そのオーディオ信号再生装置の構成を図1

6に示す。図16において、オーディオ信号再生装置は、バッファアンプ91と、フィルタ回路92と、アンプ93と、検波回路94と、時定数回路95と、ノイズ発生器96と、フィルタ回路97と、乗算器98と、加算器99とを備えて構成される。

【0003】まず、オーディオ信号は入力端子T1からバッファアンプ91に入力された後2分配され、分配された一方のオーディオ信号はそのまま加算器99に入力される。2分配された他方のオーディオ信号は、高域通過フィルタ又は帯域通過フィルタであるフィルタ回路92に入力される。フィルタ回路92は、入力されたオーディオ信号のうちの特定の帯域の信号のみを帯域ろ波して通過させた後、アンプ93に出力する。アンプ93は、入力されるオーディオ信号を所定の適当なレベルまで増幅した後、時定数回路95を有する検波回路94に出力する。検波回路94は、入力されるオーディオ信号を、例えば包絡線検波することによりそのオーディオ信号の包絡線レベルを検出し、検出した包絡線レベルを示すレベル信号を、元のオーディオ信号に付加するノイズ成分のレベル調整をするレベルコントロール信号として乗算器98に出力する。

【0004】一方、ノイズ発生器96によって発生されたノイズ成分は、高域通過フィルタ又は帯域通過フィルタであるフィルタ回路97に入力され、フィルタ回路97は、20kHz以上の周波数帯域のノイズ成分を通過させた後、乗算器98に出力する。乗算器98は、入力されるノイズ成分を検波回路94からのレベルコントロール信号で乗算することにより、レベルコントロール信号によって示されるレベルに比例するレベルを有するノイズ成分を発生して加算器99に出力する。

【0005】さらに、加算器99は、バッファアンプ91からの元のオーディオ信号に、乗算器98からのノイズ成分を加算して、ノイズ成分が加算されたオーディオ信号を発生して出力端子T2から出力する。ここで、時定数回路95の時定数を所定の値に選択することにより、ノイズ発生器96により発生されたノイズ成分を人間の聴感特性に適合させてオーディオ信号の音質改善効果を高めている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】以上説明したように、元のオーディオ信号の高音域の出力レベルに比例したランダムノイズを元のオーディオ信号に付加することにより高音域を拡大している。しかしながら、上述の従来技術のオーディオ信号再生装置においては、以下に示す問題点を有していた。

(1) 付加するノイズ成分の高域信号のスペクトル構造が楽音信号のそれと異なるために、音質上違和感があった。

(2) また、従来技術のオーディオ信号再生装置はアナログ回路で構成されているために、以下の問題点があっ

た。すなわち、当該アナログ回路を構成する部品のばらつきや温度特性により装置性能のばらつきが発生し、オーディオ信号が当該アナログ回路を通過する毎に音質劣化が発生する。また、構成しているフィルタ回路の精度を向上させると、その回路規模が大きくなり、製造コストの増大につながる。

(3) さらに、正弦波のような単一のスペクトルを有する信号が入力された場合も、ランダムノイズ成分が付加されるので、信号特性の測定において、信号特性が著しく劣化した測定結果となる。

【0007】本発明の目的は、以上の問題点を解決し、音質上違和感や劣化が無く、装置性能のばらつきがほとんど発生せず、かつ従来技術に比較して製造コストが安価である、オーディオ信号の帯域を拡張するための方法及び装置を提供することにある。

【0008】また、本発明の別の目的は、以上の問題点を解決し、正弦波信号が入力されても、信号特性の測定において信号劣化の測定結果が発生しないオーディオ信号の帯域拡張方法及び装置を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】本願の請求項1の発明は、所定の最高周波数を有する第1の帯域のデジタルオーディオ信号のうちの所定の帯域のスペクトル強度を演算して、演算されたスペクトル強度を示す信号を出力するステップと、上記第1の帯域よりも高い第2の帯域の周波数成分を有する拡張信号を発生するステップと、上記演算されたスペクトル強度を示す信号に応じて、上記拡張信号のレベルを制御するステップと、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号に対して上記最高周波数を検出し、上記最高周波数に応じて各部を制御するステップと、上記レベルが制御された拡張信号を、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号に加算して、加算結果のデジタルオーディオ信号を出力するステップとを含むことを特徴とするものである。

【0010】本願の請求項2の発明は、請求項1のオーディオ信号の帯域拡張方法において、上記最高周波数を検出するステップは、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報を入手するステップと、上記最高周波数の情報から聴覚特性を考慮して、上記拡張信号を発生するステップを制御するステップとを含むことを特徴とするものである。

【0011】本願の請求項3の発明は、請求項1のオーディオ信号の帯域拡張方法において、上記最高周波数を検出するステップは、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報を入手するステップと、上記最高周波数の情報から聴覚特性を考慮して、上記拡張信号のレベルを制御するステップを制御するステップとを含むことを特徴とするものである。

【0012】本願の請求項4の発明は、請求項1のオー

ディオ信号の帯域拡張方法において、上記最高周波数を検出するステップは、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報を入手するステップと、上記最高周波数の情報から聴覚特性を考慮して、上記演算されたスペクトル強度を示す信号を出力するステップを制御するステップとを含むことを特徴とするものである。

【0013】本願の請求項5の発明は、請求項1のオーディオ信号の帯域拡張方法において、上記最高周波数を検出するステップは、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報を入手するステップと、上記拡張信号を発生するステップと、上記拡張信号のレベルを制御するステップと、上記演算されたスペクトル強度を示す信号を出力するステップとのうち2つ乃至3つのステップを、上記最高周波数の情報から聴覚特性を考慮して制御するステップとを含むことを特徴とするものである。

【0014】本願の請求項6の発明は、請求項1のオーディオ信号の帯域拡張方法において、上記最高周波数を検出するステップは、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報を、所定の周期で入手するステップと、上記拡張信号を発生するステップと、上記拡張信号のレベルを制御するステップと、上記演算されたスペクトル強度を示す信号を出力するステップとのうち1つ乃至2つ乃至3つのステップを、所定の周期で上記最高周波数の情報から聴覚特性を考慮して制御するステップとを含むことを特徴とするものである。

【0015】本願の請求項7の発明は、請求項2～6のいずれか1項のオーディオ信号の帯域拡張方法において、上記最高周波数の情報を入手するステップは、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号のうち、信号の仕様情報（ヘッダ情報）から、最高周波数の情報を入手するステップを含むことを特徴とするものである。

【0016】本願の請求項8の発明は、請求項2～6のいずれか1項のオーディオ信号の帯域拡張方法において、上記最高周波数情報を入手するステップは、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の周波数スペクトルを分析して、最高周波数の情報を入手するステップを含むことを特徴とするものである。

【0017】本願の請求項9の発明は、請求項1, 2, 5, 6, 7, 8のいずれか1項のオーディオ信号の帯域拡張方法において、上記拡張信号を発生するステップは、非線形の入出力特性を有し、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号に対して非線形処理を実行して上記デジタルオーディオ信号を歪ませることにより、上記デジタルオーディオ信号の高調波成分のデジタル信号を発生するステップと、上記高調波成分のデジタル信号のうち上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報から聴覚特性に応じた周波数成分を高域通過ろ波して、ろ波後の信号を拡張信号として出

力するステップとを含むことを特徴とするものである。

【0018】本願の請求項10の発明は、請求項1, 2, 5, 6, 7, 8のいずれか1項のオーディオ信号の帯域拡張方法において、上記拡張信号を発生するステップは、振幅レベルに対して所定の確率分布を有するディザ信号を発生するステップと、上記ディザ信号のうち上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報から聴覚特性に応じた周波数成分を高域通過ろ波して、ろ波後の信号を拡張信号として出力するステップとを含むことを特徴とするものである。

【0019】本願の請求項11の発明は、請求項1, 2, 5, 6, 7, 8のいずれか1項のオーディオ信号の帯域拡張方法において、上記拡張信号を発生するステップは、非線形の入出力特性を有し、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号に対して非線形処理を実行して上記デジタルオーディオ信号を歪ませることにより、上記デジタルオーディオ信号の高調波成分のデジタル信号を発生するステップと、上記高調波成分のデジタル信号のうち上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報から聴覚特性に応じた周波数成分を高域通過ろ波して、ろ波後の信号を拡張信号として出力するステップと、振幅レベルに対して所定の確率分布を有するディザ信号を発生するステップと、上記ディザ信号のうち上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報から聴覚特性に応じた周波数成分を高域通過ろ波して、ろ波後の信号を出力するステップと、上記高域通過ろ波された2つの信号を加算して、加算結果の信号を拡張信号として出力するステップとを含むことを特徴とするものである。

【0020】本願の請求項12の発明は、請求項1, 9, 10, 11のいずれか1項のオーディオ信号の帯域拡張方法において、上記レベルを制御するステップの前に、所定の $1/f$ 特性と $1/f^2$ 特性とのうちの1つのフィルタ特性を有し、上記拡張信号を低域通過ろ波するステップをさらに含むことを特徴とするものである。

【0021】本願の請求項13の発明は、請求項10, 11, 12のいずれか1項のオーディオ信号の帯域拡張方法において、上記ディザ信号を発生するステップは、それぞれ互いに独立な擬似雑音系列ノイズ信号を発生する複数のステップと、上記複数の擬似雑音系列ノイズ信号を加算することにより、振幅レベルに対して、ガウス分布と釣り鐘型分布のうちの1つの分布の確率密度を有する加算結果のディザ信号を発生して拡張信号として出力するステップとを含むことを特徴とするものである。

【0022】本願の請求項14の発明は、請求項1～13のいずれか1項のオーディオ信号の帯域拡張方法において、第1の帯域のデジタルオーディオ信号のうちの所定の複数の帯域のスペクトル強度を演算して、演算された複数の帯域のスペクトル強度に基づいて上記デジタルオーディオ信号が単一のスペクトルであるか否かを



判断するステップと、上記デジタルオーディオ信号が単一のスペクトルではないと判断されたときは、上記拡張信号を出力する一方、上記デジタルオーディオ信号が単一のスペクトルであると判断されたときは、上記拡張信号を出力しないように切り換えるステップとを更に含むことを特徴とするものである。

【0023】本願の請求項15の発明は、所定の最高周波数を有する第1の帯域のデジタルオーディオ信号のうちの所定の帯域のスペクトル強度を演算して、演算されたスペクトル強度を示す信号を出力する第1のスペクトル解析手段と、上記第1の帯域よりも高い第2の帯域の周波数成分を有する拡張信号を発生する拡張信号発生手段と、上記第1のスペクトル解析手段から出力される演算されたスペクトル強度を示す信号に応じて、上記拡張信号のレベルを制御するレベル制御手段と、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号に対して上記最高周波数を検出し、上記最高周波数に応じて各部を制御する最高周波数検出手段と、上記レベル制御手段により制御された拡張信号を、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号に加算して、加算結果のデジタルオーディオ信号を出力する第1の加算手段と、を備えたことを特徴とするものである。

【0024】本願の請求項16の発明は、請求項15のオーディオ信号の帯域拡張装置において、上記最高周波数検出手段は、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報を入手する周波数情報入手手段と、上記最高周波数の情報から聴覚特性を考慮して、上記拡張信号発生手段を制御する制御手段とを備えたことを特徴とするものである。

【0025】本願の請求項17の発明は、請求項15のオーディオ信号の帯域拡張装置において、上記最高周波数検出手段は、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報を入手する周波数情報入手手段と、上記最高周波数の情報から聴覚特性を考慮して、上記レベル制御手段を制御する制御手段とを備えたことを特徴とするものである。

【0026】本願の請求項18の発明は、請求項15のオーディオ信号の帯域拡張装置において、上記最高周波数検出手段は、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報を入手する周波数情報入手手段と、上記最高周波数の情報から聴覚特性を考慮して、上記第1のスペクトル解析手段を制御する制御手段とを備えたことを特徴とするものである。

【0027】本願の請求項19の発明は、請求項15のオーディオ信号の帯域拡張装置において、上記最高周波数検出手段は、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報を入手する周波数情報入手手段と、上記拡張信号発生手段と、上記レベル制御手段と、上記第1のスペクトル解析手段のうち2つ乃至3つの手段を、上記最高周波数の情報から聴覚特性を考慮して制

御する制御手段とを備えたことを特徴とするものである。

【0028】本願の請求項20の発明は、請求項15のオーディオ信号の帯域拡張装置において、上記最高周波数検出手段は、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報を、所定の周期で入手する周波数情報入手手段と、上記拡張信号発生手段と、上記レベル制御手段と、上記第1のスペクトル解析手段のうち1つ乃至2つ乃至3つの手段を、所定の周期で上記最高周波数の情報から聴覚特性を考慮して制御する制御手段とを備えたことを特徴とするものである。

【0029】本願の請求項21の発明は、請求項16～20のいずれか1項のオーディオ信号の帯域拡張装置において、上記周波数情報入手手段は、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号のうち、信号の仕様情報（ヘッダ情報）から、最高周波数の情報を入手する手段を備えたことを特徴とするものである。

【0030】本願の請求項22の発明は、請求項16～20のいずれか1項のオーディオ信号の帯域拡張装置において、上記周波数情報入手手段は、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の周波数スペクトルを分析して、最高周波数の情報を入手する手段を備えたことを特徴とするものである。

【0031】本願の請求項23の発明は、請求項15、16、19、20、21、22のいずれか1項のオーディオ信号の帯域拡張装置において、上記拡張信号発生手段は、非線形の入出力特性を有し、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号に対して非線形処理を実行して上記デジタルオーディオ信号を歪ませることにより、上記デジタルオーディオ信号の高調波成分のデジタル信号を発生する非線形処理手段と、上記非線形処理手段から出力される高調波成分のデジタル信号のうち上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報から聴覚特性に応じた周波数成分を高域通過ろ波して、ろ波後の信号を拡張信号として出力する第1の高域通過フィルタとを備えたことを特徴とするものである。

【0032】本願の請求項24の発明は、請求項15、16、19、20、21、22のいずれか1項のオーディオ信号の帯域拡張装置において、上記拡張信号発生手段は、振幅レベルに対して所定の確率分布を有するディザ信号を発生するディザ信号発生手段と、上記ディザ信号のうち上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報から聴覚特性に応じた周波数成分を高域通過ろ波して、ろ波後の信号を拡張信号として出力する第2の高域通過フィルタとを備えたことを特徴とするものである。

【0033】本願の請求項25の発明は、請求項15、16、19、20、21、22のいずれか1項のオーディオ信号の帯域拡張装置において、上記拡張信号発生手

段は、非線形の入出力特性を有し、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号に対して非線形処理を実行して上記デジタルオーディオ信号を歪ませることにより、上記デジタルオーディオ信号の高調波成分のデジタル信号を発生する非線形処理手段と、上記非線形処理手段から出力される高調波成分のデジタル信号のうち上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報から聴覚特性に応じた周波数成分を高域通過ろ波して、ろ波後の信号を出力する第1の高域通過フィルタと、振幅レベルに対して所定の確率分布を有するディザ信号を発生するディザ信号発生手段と、上記ディザ信号のうち上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号の最高周波数の情報から聴覚特性に応じた周波数成分を高域通過ろ波して、ろ波後の信号を出力する第2の高域通過フィルタと、上記第1の高域通過フィルタから出力される信号と、上記第2の高域通過フィルタから出力される信号とを加算して、加算結果の信号を拡張信号として出力する第2の加算手段とを備えたことを特徴とするものである。

【0034】本願の請求項26の発明は、請求項15又は23のオーディオ信号の帯域拡張装置において、所定の $1/f$ 特性と $1/f^2$ 特性とのうちの1つのフィルタ特性を有し、上記拡張信号を低域通過ろ波して上記レベル制御手段に出力する低域通過フィルタをさらに備えたことを特徴とするものである。

【0035】本願の請求項27の発明は、請求項24又は25のオーディオ信号の帯域拡張装置において、所定の $1/f$ 特性と $1/f^2$ 特性とのうちの1つのフィルタ特性を有し、上記拡張信号を低域通過ろ波して上記レベル制御手段に出力する低域通過フィルタをさらに備えたことを特徴とするものである。

【0036】本願の請求項28の発明は、請求項24、25、27のいずれか1項のオーディオ信号の帯域拡張装置において、上記ディザ信号発生手段は、それぞれ互いに独立な擬似雑音系列ノイズ信号を発生する複数のノイズ信号発生回路と、上記各ノイズ発生回路の世って発生される複数の擬似雑音系列ノイズ信号を加算することにより、振幅レベルに対して、ガウス分布と釣り鐘型分布のうちの1つの分布の確率密度を有する加算結果のディザ信号を発生して拡張信号として出力する第3の加算手段を備えたことを特徴とするものである。

【0037】本願の請求項29の発明は、請求項15～28のいずれか1項のオーディオ信号の帯域拡張装置において、上記第1の帯域のデジタルオーディオ信号のうちの所定の複数の帯域のスペクトル強度を演算して、演算された複数の帯域のスペクトル強度に基づいて上記デジタルオーディオ信号が単一のスペクトルであるか否かを判断する第2のスペクトル解析手段と、上記第2のスペクトル解析手段により上記デジタルオーディオ信号が単一のスペクトルではないと判断されたときは、

上記拡張信号を上記第1の加算手段に出力する一方、上記デジタルオーディオ信号が単一のスペクトルであると判断されたときは、上記拡張信号を上記第1の加算手段に出力しないように切り換えるスイッチ手段とをさらに備えたことを特徴とするものである。

【0038】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明に係る実施の形態について説明する。

（実施の形態1）図1は、本発明に係る第1の好ましい実施の形態であるオーディオ信号帯域拡張装置の構成を示すブロック図である。この第1の好ましい実施の形態であるオーディオ信号帯域拡張装置は、入力端子T1と出力端子T2との間に挿入されるデジタル信号処理回路であって、最高周波数検出回路1と、加算器2と、スペクトル解析回路3と、レベル制御回路4と、拡張信号発生回路5、及び乗算器11で構成される。最高周波数検出回路1は、周波数情報分析器12と制御回路13とを備えて構成されている。又スペクトル解析回路3は、例えば、図2に示すように、FFT回路27と、データ選択回路28と、重み付け加算回路29とを備えて構成される。また、拡張信号発生回路5は、非線形処理回路21と、高域通過フィルタ22と、ディザ信号発生回路23と、高域通過フィルタ24と、加算器25と、 $1/f$ 特性フィルタ26とを備えて構成される。

【0039】図1において、デジタルオーディオ信号が入力端子T1を介して入力される。このデジタルオーディオ信号は、例えばコンパクトディスク（CD）から再生された信号やMP3（MPEG2-layer 3）圧縮された信号であり、このときの当該信号は、サンプリング周波数 $f_s = 44.1 \text{ kHz}$ と、語長=16ビットを有する信号である。入力デジタルオーディオ信号は、最高周波数検出回路1とスペクトル解析回路3及び拡張信号発生回路5の非線形処理回路21に入力される。

【0040】非線形処理回路21は、非線形の入出力特性を有し、入力されるデジタルオーディオ信号に対して非線形処理を実行することによりデジタルオーディオ信号を歪ませて高調波成分を発生させ、高調波成分を有するデジタルオーディオ信号をデジタル高域通過フィルタ22に出力する。非線形処理回路21は、例えばその一例として、図3に示すように、絶対値演算回路31と、DCオフセット除去回路32とを備えて構成される。ここで、DCオフセット除去回路32は、減算器33と、平均化回路34と、 $1/2$ 乗算器35とを備えて構成される。

【0041】絶対値演算回路31は、入力されたデジタルオーディオ信号に対して、例えば全波整流処理などの非線形処理を実行した後、非線形処理後のデジタルオーディオ信号をDCオフセット除去回路32の減算器33及び平均化回路34に出力する。絶対値演算回路3

1は、正の振幅を有する信号をそのまま出力する一方、負の振幅を有する信号を負の振幅と同一の絶対値を有する正の振幅に変換して出力する。そのため、負の振幅を有する信号はゼロレベルを境にして正側に折り返されるところで高調波成分が発生する。次いで、平均化回路34は、サンプリング周波数 $f_s$ に比較して非常に低い、例えば $0.0001f_s$ 程度の遮断周波数を有する低域通過フィルタを備えて構成され、所定の時間期間（例えば、サンプリング周期 $T_s$ に比較して十分に長い時間期間）に対して、入力されるデジタルオーディオ信号の振幅の時間平均値を演算し、当該時間平均値を有するデジタル信号を $1/2$ 乗算器35に出力する。そして、 $1/2$ 乗算器35は、入力されるデジタル信号に対して $1/2$ を乗算して、乗算結果の値を有するデジタル信号を、DCオフセット量を示すデジタル信号として減算器33に出力する。さらに、減算器33は、絶対値演算回路31から出力されるデジタルオーディオ信号から、 $1/2$ 乗算器35から出力されるデジタル信号を減算することにより、DCオフセットを除去している。

【0042】ここで、入力端子T1を介して入力されるデジタル信号はゼロレベルを基準とした信号であり、図1内の各回路からの出力デジタル信号及び出力端子T2からのデジタル信号もゼロレベルを基準とする必要があるが、非線形処理回路21への入力デジタル信号はゼロレベルを基準とした信号であっても、非線形処理を行うための絶対値演算回路31によって正のレベルに変換されるため、DCオフセットが発生する。そこで、絶対値演算回路31からの出力デジタル信号に対して、平均化回路34で平均値を演算し、その平均値の2分の1を絶対値演算回路31からの出力デジタル信号から減算することでDCオフセットを除去している。

【0043】そして、入力されたデジタルオーディオ信号のレベルを基準として非線形処理回路21で生成された高調波成分を含むデジタル信号は、図1に示すように、デジタル高域通過フィルタ22に入力され、デジタル高域通過フィルタ22は、入力されるデジタルオーディオ信号の最高周波数から聴感特性を考慮して決定した高周波成分のみを高域通過ろ波して加算器25に出力する。最高周波数の検出及び高域通過帯域の決定については、後述する。

【0044】また、図1のディザ信号発生回路23は周波数 $0 \sim f_s/2$ の帯域を有し、時間軸に対してランダムな振幅レベルを有するデジタルオーディオ信号を発生し、すなわち、入力端子T1を介して入力されたデジタルオーディオ信号とは無相関に発生させたディザ信号を発生して、デジタル高域通過フィルタ24に出力する。次いで、デジタル高域通過フィルタ24は、入力されるデジタルオーディオ信号の最高周波数から聴感特性を考慮して決定した高周波成分のみを、入力され

るディザ信号から高域通過ろ波して加算器25に出力する。上記と同様に、最高周波数の検出及び高域通過帯域の決定については、後述する。

【0045】ディザ信号発生回路23は、具体的には、例えば図4に示すように構成される。図4において、ディザ信号発生回路23は、複数N個の擬似雑音系列ノイズ信号発生回路（以下、PN系列ノイズ信号発生回路という。） $40-n$  ( $n=1, 2, \dots, N$ ) と、加算器41と、DCオフセット除去用定数信号発生器43と、減算器44とを備えて構成される。ここで、各PN系列ノイズ信号発生回路 $40-n$ は、互いに独立な初期値を有して、例えば、M系列ノイズ信号である一様ランダムな振幅レベルを有する擬似ノイズ信号を発生して加算器41に出力する。次いで、加算器41は複数のPN系列ノイズ信号発生回路 $40-1$ 乃至 $40-N$ から出力される複数N個の擬似ノイズ信号を加算して、加算結果の擬似ノイズ信号を減算器44に出力する。一方、DCオフセット除去用定数信号発生器43は、複数N個のPN系列ノイズ信号発生回路 $40-1$ 乃至 $40-N$ からの擬似ノイズ信号の時間平均値の和であるDCオフセット除去用定数信号を発生して減算器44に出力する。そして、減算器44は、擬似ノイズ信号の和からDCオフセット除去用定数信号を減算することにより、DCオフセットのないディザ信号を発生して出力する。

【0046】ここで、各PN系列ノイズ信号発生回路 $40-n$  ( $n=1, 2, \dots, N$ ) は、図5に示すように32ビットシフトレジスタ51と、排他的論理和ゲート52と、クロック信号発生器53と、初期値データ発生器54とを備えて構成される。32ビットシフトレジスタ51には、初期値データ発生器54から各PN系列ノイズ信号発生回路 $40-n$ 毎に互いに異なる初期値が設定された後、クロック信号発生器53により発生されるクロック信号に基づいて、32ビットシフトレジスタ51は1ビットずつ最下位ビット(LSB)から最上位ビット(MSB)にデータシフトするように計数する。32ビットシフトレジスタ51の32ビットのデータ(0~31ビット目のデータを含む。)のうち、最上位ビット(MSB; 31ビット目)の1ビットデータと、その3ビット目の1ビットデータとは、排他的論理和ゲート52の入力端子に入力され、クロック信号発生器53からのクロック信号に基づいて、排他的論理和ゲート52は排他的論理和の演算結果の1ビットデータを32ビットシフトレジスタ51の最下位ビット(LSB)にセットする。そして、32ビットシフトレジスタ51の下位8ビットのデータはPN系列ノイズ信号として出力される。このようにPN系列ノイズ信号発生回路 $40-n$ を構成することにより、各PN系列ノイズ信号発生回路 $40-n$ から出力されるPN系列ノイズ信号は互いに独立した8ビットのPN系列ノイズ信号となる。

【0047】図5の例では、各PN系列ノイズ信号発生

回路40-nで互いに独立した8ビットのPN系列ノイズ信号を発生するために、上述のように構成しているが、本発明はこれに限らず、以下のように構成しても良い。

(1) 32ビットシフトレジスタ51から取り出すPN系列ノイズ信号の8ビットのビット位置を互いに異ならせる。すなわち、PN系列ノイズ信号発生回路40-1では最下位8ビットから8ビットのPN系列ノイズ信号を取り出し、PN系列ノイズ信号発生回路40-2では最下位8ビットより直上の8ビットからPN系列ノイズ信号を取り出し、以下同様にしてPN系列ノイズ信号を取り出す。

(2) これに代わって、排他的論理和ゲート52に入力する1ビットデータを取り出す32ビットシフトレジスタ51のビット位置を各PN系列ノイズ信号発生回路40-nで互いに異ならせる。

(3) もしくは、図5の例と、上記(1)の変形例と、上記(2)の変形例との少なくとも2つを組み合わせる。

【0048】そして、互いに独立な複数個のPN系列ノイズを加算することにより、図6、図7及び図8に示すように、振幅レベルに対して確率密度を有するPN系列ノイズ信号を発生することができる。例えば、 $n=1$ であるときは、概ね、図6に示すように、振幅レベルに対して一様分布の確率密度を有するホワイトノイズ信号を発生することができる。また、 $n=12$ であるとき、中心極限定理を用いれば、ガウス分布は分散が $1/12$ であるため12個の一様乱数を発生するPN系列ノイズ信号発生回路40-nからの各PN系列ノイズ信号を加算することにより、図8に示すように、概ね、振幅レベルに対してガウス分布の確率密度を有するガウス分布型ノイズ信号を発生することができる。さらに、 $n=3$ であるとき、図7に示すように、ガウス分布に近く、ガウス分布から若干大きい分布を有し、振幅レベルに対してベル型分布又は釣り鐘型分布の確率密度を有するベル分布型(釣り鐘型)ノイズ信号を発生することができる。以上説明したように、図4及び図5の回路を構成し、例えば、図7又は図8のノイズ信号を発生することにより、小規模の回路で、自然音や楽音信号に近いディザ信号を発生することができる。

【0049】図1に戻り参照すれば、拡張信号発生回路5の加算器25は、高域通過フィルタ22からの帯域制限された高調波成分のデジタル信号と、高域通過フィルタ24からの帯域制限されたディザ信号とを加算して、加算結果のデジタル信号を $1/f$ 特性フィルタ26を介してレベル制御回路4の乗算器11に出力する。ここで、 $1/f$ 特性フィルタ26は、図9に示すように、周波数0から $f_s/6$ までの帯域B1よりも高い、周波数 $f_s/6$ から $f_s/2$ までの帯域B2において $-6\text{ dB/oct}$ の傾斜を有する減衰特性を備えた、いわ

ゆる $1/f$ 特性の低域通過フィルタである。

【0050】なお、 $1/f$ 特性フィルタ26の挿入位置は、図1の実施の形態に限らず、 $1/f$ 特性フィルタ26を、高域通過フィルタ22と加算器25との間に挿入するとともに、高域通過フィルタ24と加算器25との間に挿入してもよい。また、 $1/f$ 特性フィルタ26を、高域通過フィルタ22と加算器25との間のみに挿入してもよいし、高域通過フィルタ24と加算器25との間のみに挿入してもよい。さらに、 $1/f$ 特性フィルタ26に代えて、図10の減衰特性を有する $1/f^2$ 特性フィルタを備えてもよい。ここで、 $1/f^2$ 特性フィルタは、図10に示すように、周波数0から $f_s/6$ までの帯域B1よりも高い、周波数 $f_s/6$ から $f_s/2$ までの帯域B2において $-12\text{ dB/oct}$ の傾斜を有する減衰特性を備えた、いわゆる $1/f^2$ 特性の低域通過フィルタである。

【0051】一方、スペクトル解析回路3は、入力端子T1に入力されるデジタルオーディオ信号の最高周波数から聴感特性を考慮して決定した所定の帯域のスペクトル強度を演算して、演算されたスペクトル強度を示す信号をレベル制御回路4の乗算器11に出力する。図2に示すスペクトル解析回路3のFFT回路27は、FFT演算法を用いて、入力されるデジタルオーディオ信号に対して、高速フーリエ変換処理を実行することにより、例えば、周波数分解能数が $1024$ であれば $2048\text{ Ts}$ 毎のデータに基づいて、周波数 $f_s/1024$ 毎の合計 $1024$ 個のスペクトル強度を演算してデータ選択回路28に出力する。次いで、データ選択回路28は、入力される周波数 $f_s/1024$ 毎のスペクトル強度に基づいて、例えば周波数 $f_s/10 \sim f_s/2$ の帯域に該当するスペクトル強度のデータを選択的に抽出して重み付け加算回路29に出力する。さらに、重み付け加算回路29は、抽出されたスペクトル強度のデータに対して、各データに対して入力端子T1に入力されるデジタルオーディオ信号の最高周波数から聴感特性を考慮して決定した所定の重み付け係数を用いて加算することにより、入力されるデジタルオーディオ信号の周波数 $f_s/10 \sim f_s/2$ の帯域のスペクトル強度を演算して、演算結果のスペクトル強度を示す信号をレベル制御回路4の乗算器11に出力する。最高周波数の検出、スペクトル強度を演算する帯域及び重み付け係数の決定については、後述する。

【0052】そして、レベル制御回路4は、スペクトル解析回路3からのスペクトル強度を示す信号に基づいて、 $1/f$ 特性フィルタ26からの帯域制限された高調波成分の信号とディザ信号の加算信号である拡張信号の信号レベルを制御する。ここで、レベル制御回路4は、図1に示すように乗算器11により構成され、拡張信号発生回路5からの拡張信号を所定の係数で乗算し、乗算結果の信号を加算器2に出力する。この係数はスペクト

ル強度を示す信号とともに入力端子T1に入力されるデジタルオーディオ信号の最高周波数から聴感特性を考慮して決定される。すなわち、レベル制御回路4は、入力されたデジタルオーディオ信号の周波数 $f_s/10 \sim f_s/2$ におけるスペクトル強度が大きい場合、 $1/f$ 特性フィルタ26からの信号レベルを大きくするように動作し、入力されたデジタルオーディオ信号の周波数 $f_s/10 \sim f_s/2$ におけるスペクトル強度が小さい場合は $1/f$ 特性フィルタ26からの信号レベルを小さくするように動作する。最高周波数の検出、乗算器11に係る係数の決定については、後述する。

【0053】さらに、加算器2は、入力端子T1を介して入力されたデジタルオーディオ信号と、レベル制御回路4からの高調波成分のデジタル信号及びディザ信号の加算信号とを加算して出力端子T2を介して出力する。

【0054】一方、最高周波数検出回路1の周波数情報分析器12は、入力端子T1を介して入力されたデジタルオーディオ信号に含まれている信号の仕様情報（ヘッダ情報）から、最高周波数情報を取り出す。上記ヘッダ情報には、例えば、デジタルオーディオ信号の再生最高周波数の他に、サンプリング周波数、デジタルオーディオ信号のチャンネル数、ビットレート数などが含まれており、デジタル信号化された状態でデジタルオーディオ信号の楽音デジタル信号と一対に構成される。また、入力端子T1を介して入力されたデジタルオーディオ信号の最高周波数情報を検出する手段として、FFT回路を用いてデジタルオーディオ信号を周波数領域に変換してスペクトル強度の大きさから最高周波数を求める構成としてもよい。次いで、制御回路13は、周波数情報分析器12で得られた最高周波数情報を元に、聴感特性を考慮して予め複数用意されたデジタル高域通過フィルタ22、24の帯域や、データ選択回路28で選択される帯域、及び重み付け加算回路29の重み付け係数、乗算器11に係る係数の値の中から最適値を決定するための制御信号をスペクトル解析回路3、拡張信号発生回路5及びレベル制御回路4に伝達する。

【0055】ここで、図11に聴感特性として代表的なロビンソン-ダッドソンによる自由音場平面波の等感曲線を示す（引用文献：聴覚と音響心理 コロナ社）。曲線に付してある数値は音の大きさのレベルで、1kHz純音の音圧レベルと等しい値が記されており、各曲線上の点では純音の周波数に関係なく、すべて同じ大きさに聞こえる。MAFは最小可聴限界である。これに基づいて、入力されるデジタルオーディオ信号のスペクトル強度と、拡張する帯域のスペクトル強度とのバランスをとる。具体的には、入力されるデジタルオーディオ信号の最高周波数が12kHzでスペクトル強度を演算する帯域が6kHz付近であった場合、12kHz以上の帯域を拡張するためのスペクトル強度は入力されるディ

ジタルオーディオ信号のスペクトル強度よりも3～5dB程度低くした方が良いことになる。

【0056】以上説明したように、本発明に係る第1の好ましい実施の形態によれば、入力されたデジタルオーディオ信号が有する帯域以上で楽音信号と同様のスペクトル構造を有する（すなわち、ディザ信号の発生頻度を略ガウス分布やベル分布にすることで自然音と略相似の発生メカニズムを有する）高調波成分やディザ信号を発生させ、入力されたデジタルオーディオ信号の高域スペクトル強度に応じてこの発生させた高調波成分のデジタル信号及びディザ信号を入力されたデジタルオーディオ信号に加算することにより、従来技術に比例して容易にオーディオ帯域が拡張されたデジタルオーディオ信号を発生することができる。

【0057】また、入力されるデジタルオーディオ信号の最高周波数を検出し、かつ、聴感特性を考慮した帯域の拡張ができるので、各種の再生帯域の異なるデジタルオーディオ信号に対して、違和感の少ない自然な音色にすることができる。

【0058】また、本実施の形態のオーディオ信号帯域拡張装置における信号処理はすべてデジタル信号処理であるため、回路を構成する部品のばらつきや温度特性により性能ばらつきが発生しない。また、オーディオ信号が回路を通過する毎に音質劣化が発生することもない。さらに、構成しているフィルタの精度追求を行ってもアナログ回路構成と比較して、回路規模が大きくなることもなく、製造コストの増加につながらない。

【0059】なお、本実施の形態では、入力されたデジタルオーディオ信号の帯域を制限せずに非線形処理回路21にて高調波成分の信号を発生させたが、予め高域通過フィルタ22と同様の高域通過フィルタにより帯域制限をした信号を非線形処理回路21に入力して高調波成分の信号を発生させてもよい。

【0060】また、非線形処理回路21を構成するために、図5では全波整流回路として絶対値演算回路51を用いたが、本発明はこれに限らず、絶対値演算回路51に代えて、入力されたデジタルオーディオ信号の正の部分のみを出力し、入力されたデジタルオーディオ信号の負の部分の信号をゼロレベルとして出力する半波整流回路を用いてもよい。

【0061】また、制御回路13は、周波数情報分析器12で得られた最高周波数情報を元に、聴感特性を考慮して予め複数用意されたデジタル高域通過フィルタ22、24の帯域や、データ選択回路28で選択される帯域、及び重み付け加算回路29の重み付け係数、乗算器11に係る係数の値の中から最適値を決定するための制御信号をスペクトル解析回路3、拡張帯域発生回路5及びレベル制御回路4に伝達させたが、スペクトル解析回路3、拡張帯域発生回路5及びレベル制御回路4のいずれか一つあるいは二つの回路に制御信号を伝達させても



よい。

【0062】また、最高周波数検出回路1は、例えば、入力されたデジタルオーディオ信号のフレーム単位毎の所定の周期で、動作させてもよい。

【0063】（実施の形態2）図12は、本発明に係る第2の好ましい実施の形態であるオーディオ信号帯域拡張装置の構成を示すブロック図である。図12において、図1と同様のものについては同一の符号を付して、その詳細な説明を省略する。この第2の好ましい実施の形態に係るオーディオ信号帯域拡張装置は、図1のオーディオ信号帯域拡張装置に比較して以下の点が異なる。

（1）レベル制御回路4に代えて、平滑化回路14と乗算器11とを備えたレベル制御回路4aを備える。

（2）スペクトル解析回路6及びスイッチ7とをさらに備える。

以下、上記の相違点について詳細に説明する。図12における、スペクトル解析回路3から出力される、周波数 $f_s/10 \sim f_s/2$ の入力端子T1に入力されるデジタルオーディオ信号の最高周波数から聴感特性を考慮して、所定の帯域を決定する。そしてそのスペクトル強度を示す信号に対して平滑化回路14で、包絡線検波処理、時間積分処理、又は低域通過フィルタ処理を実行する。その後、当該処理後の信号を拡張信号発生回路5から出力される拡張信号に乗算することにより、レベル制御回路4aにおけるレベル制御を時間的に緩慢にする。

【0064】図13は、図12のスペクトル解析回路6の内部構成を示すブロック図である。スペクトル解析回路6は、図13に示すように、高域通過フィルタ61と、絶対値演算回路62と、低域通過フィルタ63と、減算器64と、低域通過フィルタ65と、絶対値演算回路66と、低域通過フィルタ67と、判定回路68とを備えている。図13において、図12の入力端子T1を介して入力されたデジタルオーディオ信号は、高域通過フィルタ61及び減算器64に入力される。高域通過フィルタ61は、低域通過ろ波されたデジタルオーディオ信号から、周波数 $f_s/10 \sim f_s/2$ の帯域成分のみを通過させるように高域通過ろ波し、その信号を絶対値演算回路62及び時間積分を行う低域通過フィルタ63に通過させる。これにより入力されたデジタルオーディオ信号の周波数 $f_s/10 \sim f_s/2$ の帯域におけるスペクトル強度 $y_{ah}$ を演算して、スペクトル強度 $y_{ah}$ を示す信号を判定回路68に出力する。

【0065】一方、減算器64は、入力端子T1を介して入力されたデジタルオーディオ信号から、高域通過フィルタ61からの高域通過ろ波後の信号を減算した後、減算結果の信号を低域通過フィルタ65に通過させることにより、周波数 $0 \sim f_s/10$ の帯域の成分を抽出する。上記抽出した周波数 $0 \sim f_s/10$ の帯域の成分を絶対値演算回路66及び時間積分を行う低域通過フィルタ67に通過させることにより、入力されたディ

タルオーディオ信号の周波数 $0 \sim f_s/10$ の帯域におけるスペクトル強度 $y_{al}$ を演算し、スペクトル強度 $y_{al}$ を示す信号を判定回路68に出力する。

【0066】そして、判定回路68は、入力されたデジタルオーディオ信号の周波数 $0 \sim f_s/10$ におけるスペクトル強度 $y_{al}$ と、周波数 $f_s/10 \sim f_s/2$ におけるスペクトル強度 $y_{ah}$ を比較して、以下のようにスイッチ7の切り換えを制御する。

（a）スペクトル強度 $y_{al}$ が所定のしきい値レベル以上でかつスペクトル強度 $y_{ah}$ が上記しきい値レベル未満であるとき、もしくは、（b）スペクトル強度 $y_{al}$ が所定のしきい値レベル未満でかつスペクトル強度 $y_{ah}$ が所定のしきい値レベル以上であるとき、スイッチ7を接点b側に切り換えて、レベル制御回路4aからの拡張信号を加算器2に出力せず、ゼロレベルの信号を加算器2に出力する。一方、上記（a）及び（b）以外の場合は、スイッチ7を接点a側に切り換えて、レベル制御回路4aからの拡張信号を加算器2に出力する。

【0067】すなわち、入力されたデジタルオーディオ信号が、周波数 $0 \sim f_s/10$ の帯域、並びに、周波数 $f_s/10 \sim f_s/2$ の帯域の2つの帯域においてそれぞれ、所定のしきい値以上のスペクトル強度を有するとき、スイッチ7を接点a側に切り換えて入力されたデジタルオーディオ信号の帯域を拡張する。一方、スペクトル強度 $y_{al}$ が所定のしきい値レベル以上でかつスペクトル強度 $y_{ah}$ が所定のしきい値レベル未満であれば、周波数 $f_s/10 \sim f_s/2$ の帯域成分が実質的に存在しないため、拡張する必要がなく、スイッチ7を接点b側に切り換える。また、スペクトル強度 $y_{al}$ が所定のしきい値レベル未満でかつスペクトル強度 $y_{ah}$ が所定のしきい値レベル以上の場合は、基本波成分がなく高調波成分のみであり、すなわち楽音ではなく高域の単一スペクトル又は意図的に発生された非楽音であると判断して、スイッチ7を接点b側に切り換える。これにより、単一スペクトル又は非楽音信号を検出したとき、図14に示すように、帯域の拡張をしないようにスイッチ7を制御している。すなわち、本実施の形態のオーディオ信号帯域拡張装置から出力されるデジタル信号のスペクトルは、入力されたデジタル信号の帯域B1内の最高帯域のスペクトル100で遮断されている。

【0068】本実施の形態においては、平滑化回路14を備えたので、スイッチ7を接点a側に切り換えたときに、図15に示すように、入力されたデジタルオーディオ信号に対して、拡張信号発生回路5からの拡張信号を、スペクトル特性上で滑らかにつながるように加算している。すなわち、本実施の形態のオーディオ信号帯域拡張装置から出力されるデジタル信号のスペクトルは、入力されたデジタル信号の帯域B1内の最高帯域のスペクトル100において帯域B2内の最低帯域のスペクトル101と連結された後、帯域B2のスペクトル

の傾斜を帯域 B 1 内のスペクトルの傾斜と同じくして、連続させている。

【0069】以上説明したように、本発明に係る第 2 の好ましい実施の形態によれば、第 1 の好ましい実施の形態における作用効果と同様の作用効果を有するとともに、平滑化回路 14 を備えたので、拡張信号発生回路 5 により発生された拡張信号を、入力されたデジタルオーディオ信号の高域のスペクトル強度に応じて、スペクトル特性上で入力されたデジタルオーディオ信号と滑らかにつながるように加算することができる。

【0070】また、スペクトル解析回路 6 及びスイッチ 7 を備えたので、単一のスペクトルを有する正弦波や、非楽音信号が入力された場合、スイッチ 7 を接点 b 側に切り換えて拡張信号を加算しないように制御することができ、すなわち、オーディオ帯域の拡張機能を停止させることができるので、信号特性の測定において、信号特性が著しく劣化した測定結果となることを防止できる。

【0071】以上の好ましい実施の形態においては、拡張信号発生回路 5 において、非線形処理回路 2 1 及び高域通過フィルタ 2 2 により発生される高調波成分の信号と、ディザ信号発生回路 2 3 及び高域通過フィルタ 2 4 により発生されるディザ信号とを発生して加算器 2 5 により加算して拡張信号としているが、本発明はこれに限らず、拡張信号は、上記高調波成分の信号と、上記ディザ信号とのうちの少なくとも一方を含むようにしてもよい。

【0072】以上好ましい実施の形態においては、スペクトル解析回路 6 において 2 つの帯域のスペクトル強度を演算して、入力されたデジタルオーディオ信号が単一のスペクトル又は非楽音信号であるか否かを判断しているが、本発明はこれに限らず、スペクトル解析回路 6 において複数の帯域のスペクトル強度を演算して、入力されたデジタルオーディオ信号が単一のスペクトル又は非楽音信号であるか否かを判断してもよい。

【0073】以上の好ましい実施の形態においては、 $1/f$  特性フィルタ 2 6 を備えているが、本発明はこれに限らず、備えなくてもよい。

【0074】以上の好ましい実施の形態においては、オーディオ信号帯域拡張装置を、ハードウェアのデジタル信号処理回路で構成しているが、本発明はこれに限らず、例えば、図 1 又は図 12 の構成を信号処理プログラムで実現して、当該信号処理プログラムを DSP (デジタル・シグナル・プロセッサ) により実行してもよい。

【0075】

【発明の効果】従って本願の請求項 1 の発明によれば、第 1 の加算手段と、第 1 のスペクトル解析手段と、レベル制御手段と、拡張信号発生手段とを備えたオーディオ信号帯域装置をデジタル信号処理回路で構成したので、装置性能のばらつきがほとんど発生せず、かつ従来

技術に比較して製造コストが安価である、オーディオ信号の帯域を拡張するための方法及び装置を提供することができる。

【0076】また本願の請求項 12, 26, 27 の発明によれば、第 1 のスペクトル解析手段からの入力されたデジタルオーディオ信号の高域のスペクトル強度に応じて拡張信号の加算レベルの調整し、さらに  $1/f$  特性又は  $1/f^2$  特性の低域通過フィルタを通過させた拡張信号を用いたので、入力された元のデジタルオーディオ信号の音質を変化させることなく、楽音信号に近い自然の音色を有する拡張信号を加算することができ、音質上の違和感や劣化が無い。

【0077】また本願の請求項 9~11, 23~25 の発明によれば、入力されたデジタルオーディオ信号が有する帯域以上で楽音信号と同様のスペクトル構造を有する(すなわち、ディザ信号の発生頻度を略ガウス分布やベル分布にすることで自然音と略相似の発生メカニズムを有する)高調波成分やディザ信号を発生させ、入力されたデジタルオーディオ信号の高域スペクトル強度に応じてこの発生させた高調波成分のデジタル信号及びディザ信号を入力されたデジタルオーディオ信号に加算することにより、従来技術に比例して容易にオーディオ帯域が拡張されたデジタルオーディオ信号を発生することができる。

【0078】また本願の請求項 2~8, 16~22 の発明によれば、入力されるデジタルオーディオ信号の最高周波数を検出あるいは所定の周期で検出し、かつ、聴感特性を考慮した帯域の拡張ができるので、各種の再生帯域の異なるデジタルオーディオ信号に対して、あるいは入力されるデジタルオーディオ信号内の帯域変化に対して、違和感の少ない自然な音色にすることができる。

【0079】さらに本願の請求項 14, 28, 29 の発明によれば、第 2 のスペクトル解析手段及び切り換え手段を備えたので、正弦波信号が入力されても、信号特性の測定において信号劣化の策定結果が発生しないオーディオ帯域拡張方法及び装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係る第 1 の好ましい実施の形態であるオーディオ信号帯域拡張装置の構成を示すブロック図である。

【図 2】図 1 のスペクトル解析回路 3 の内部構成を示すブロック図である。

【図 3】図 1 の非線形処理回路 2 1 の内部構成を示すブロック図である。

【図 4】図 1 のディザ信号発生回路 2 3 の内部構成を示すブロック図である。

【図 5】図 4 の PN 系列ノイズ信号発生回路 40-n (n=1, 2, ..., N) の内部構成を示すブロック図である。

【図6】図5のPN系列ノイズ信号発生回路40-n (n=1, 2, ..., N) の一例によって発生されるホワイトノイズ信号の振幅レベルに対する確率密度の関数を示すグラフである。

【図7】図5のPN系列ノイズ信号発生回路40-n (n=1, 2, ..., N) の一例によって発生されるベル分布型ノイズ信号の振幅レベルに対する確率密度の関数を示すグラフである。

【図8】図5のPN系列ノイズ信号発生回路40-n (n=1, 2, ..., N) の一例によって発生されるガウス分布型ノイズ信号の振幅レベルに対する確率密度の関数を示すグラフである。

【図9】図1の1/f特性フィルタ26の周波数特性を示すスペクトル図である。

【図10】図1の1/f特性フィルタ26に取って代わる1/f<sup>2</sup>特性フィルタの周波数特性を示すスペクトル図である。

【図11】純音の音の大きさの等感曲線（ロビンソン-ダッドソン曲線）を示す図である。

【図12】本発明に係る第2の好ましい実施の形態であるオーディオ信号帯域拡張装置の構成を示すブロック図である。

【図13】図12のスペクトル解析回路6の内部構成を示すブロック図である。

【図14】図12のオーディオ信号帯域拡張装置に入力される入力デジタル信号のスペクトル強度を示すスペクトル図である。

【図15】図12のオーディオ信号帯域拡張装置によって帯域拡張された後のデジタル信号のスペクトル強度を示すスペクトル図である。

【図16】従来技術に係るオーディオ信号帯域拡張装置の構成を示すブロック図である。

【符号の説明】

T1 入力端子

T2 出力端子

1 最高周波数検出回路

2 加算器

3 スペクトル解析回路

4 レベル制御回路

5 拡張信号発生回路

6 スペクトル解析回路

7 スイッチ

11 乗算器

12 周波数情報分析器

13 制御回路

14 平滑化回路

21 非線形処理回路

22 高域通過フィルタ

23 ディザ信号発生回路

24 高域通過ファルタ

25 加算器

26 1/f特性フィルタ

27 FFT回路

28 データ選択回路

29 重み付け加算回路

31 絶対値演算回路

32 DCオフセット除去回路

33 減算器

34 平均化回路

35 1/2乗算器

40-n (n=1, 2, ..., N) PN系列ノイズ信号発生回路

41 加算器

43 DCオフセット除去用定数信号発生器

44 減算器

51 32ビットシフトレジスタ

52 排他的論理和ゲート

53 クロック信号発生器

54 初期値データ発生器

61 高域通過フィルタ

62 絶対値演算回路

63 低域通過フィルタ

64 減算器

65 低域通過フィルタ

66 絶対値演算回路

67 低域通過フィルタ

68 判定回路

91 バッファアンプ

92 フィルタ回路

93 アンプ

94 検波回路

95 時定数回路

96 ノイズ発生器

97 フィルタ回路

40 98 乗算器

99 加算器

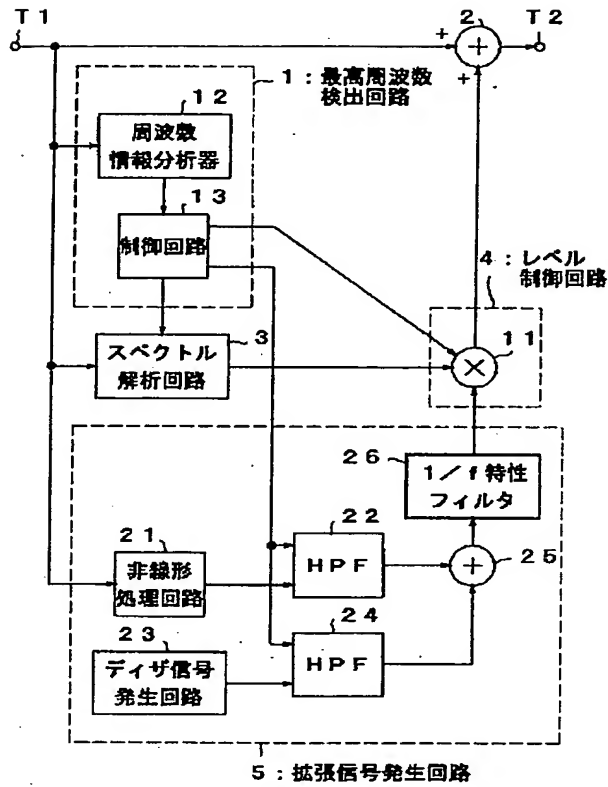
100 入力されたデジタル信号の帯域B1内の最高帯域のスペクトル

101 帯域B2内の最低帯域のスペクトル

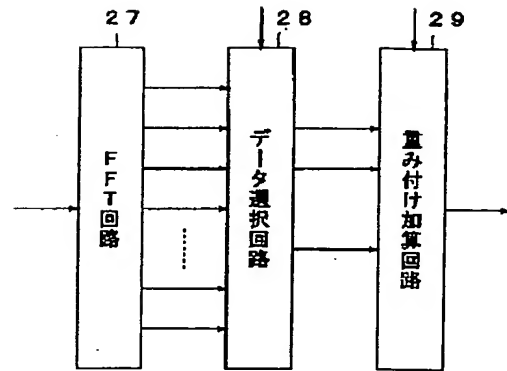
102 帯域B2のスペクトルの傾斜



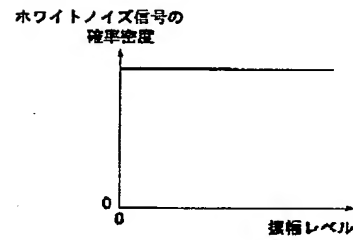
【図1】



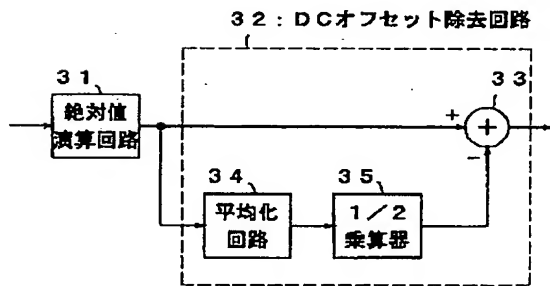
【図2】



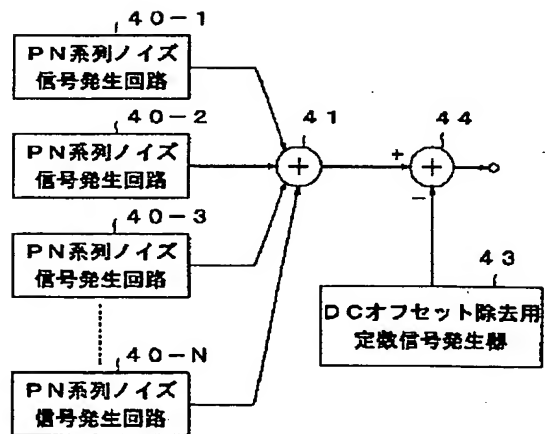
【図6】



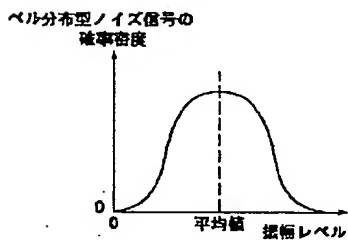
【図3】



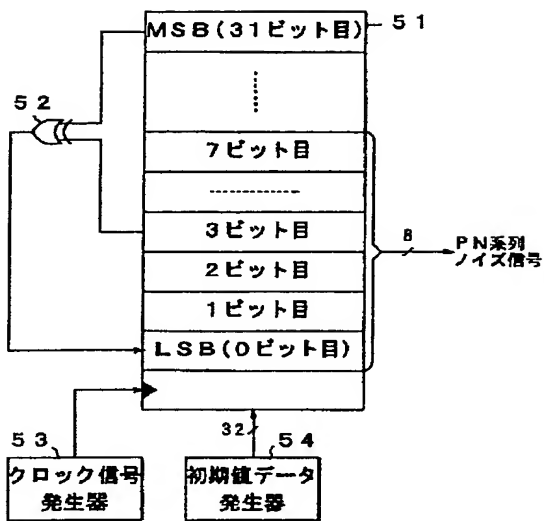
【図4】



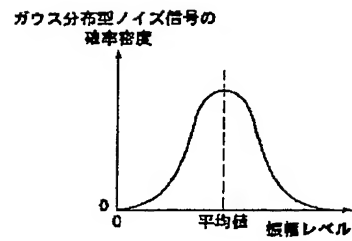
【図7】



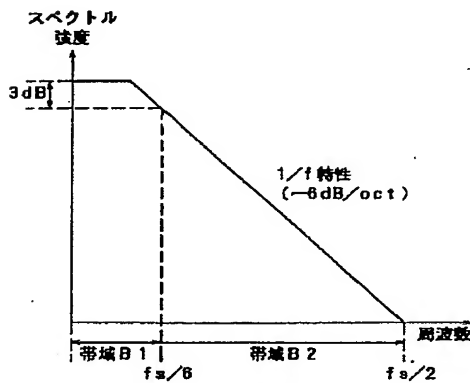
【図5】



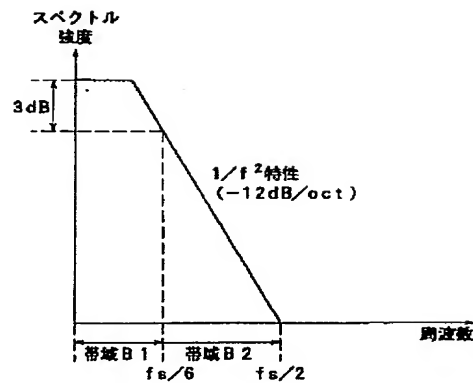
【図8】



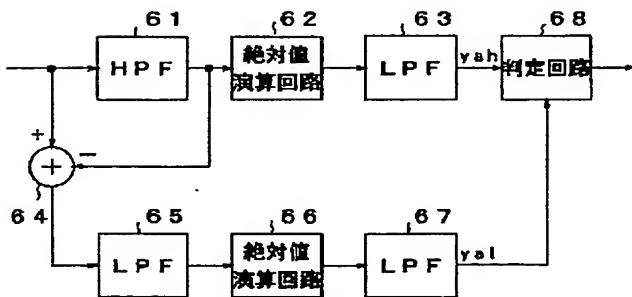
【図9】



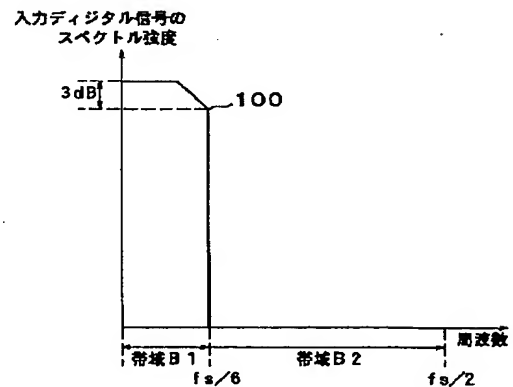
【図10】



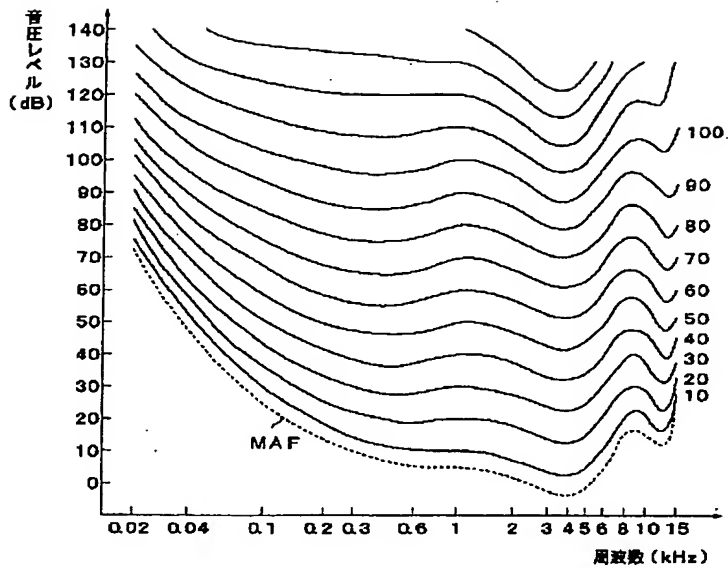
【図13】



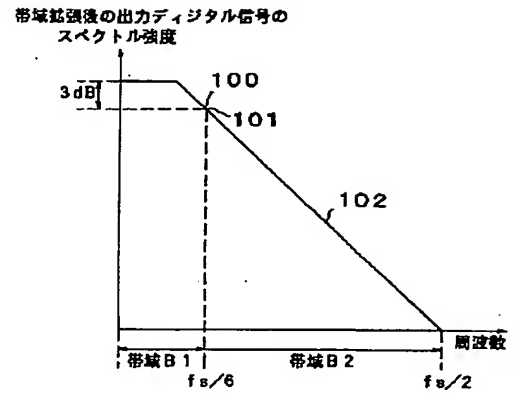
【図14】



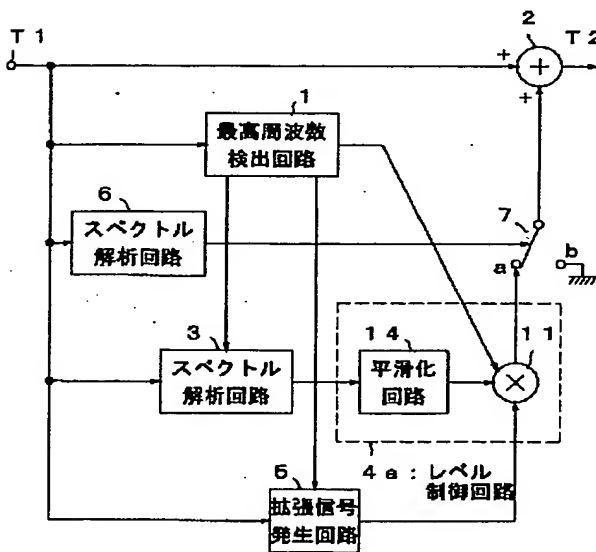
【図11】



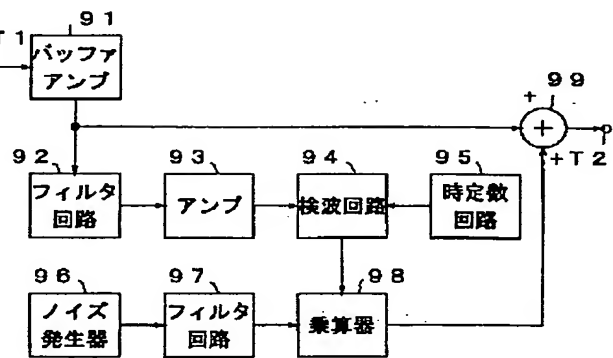
【図15】



【図12】



【図16】



フロントページの続き

(72)発明者 永井 清隆  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**